



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea in Ingegneria Meccatronica

Tesi di Laurea Triennale

Analisi agli elementi finiti di una piastra con “V-notch with end-hole”
soggetta a taglio.

Finite element analyses of a plate weakned by V-notches with end-holes
under in-plane shear loading.

Relatore: Ing. Michele Zappalorto

Correlatore: Ing. Alessandro Pontefisso

Laureando: Adriano Dal Monte

Anno accademico 2013-2014

Indice

1. Sommario.....	5
2. Introduzione.....	6
2.1 Il calcolo delle tensioni.....	6
2.2 Il metodo agli elementi finiti.....	7
2.3 Il programma Ansys.....	8
3. Analisi.....	9
3.1 Descrizione del componente.....	9
3.2 Fase di Preprocessor.....	11
3.3 Fase di Solution.....	15
3.4 Fase di Postprocessor.....	16
4. Formulario.....	18
5. Risultati ottenuti.....	20
5.1 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 0.1$ mm.....	21
5.2 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 0.5$ mm.....	22
5.3 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 1$ mm.....	23
5.4 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 2$ mm.....	24
5.5 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 4$ mm.....	25
5.6 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 0.1$ mm.....	26
5.7 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 0.5$ mm.....	27
5.8 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 1$ mm.....	28
5.9 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 2$ mm.....	29
5.10 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 4$ mm.....	30
6. Conclusioni.....	31
7. Bibliografia.....	33

1. Sommario

Lo scopo di questa tesi è quello di analizzare con il metodo agli elementi finiti una piastra, indebolita da un intaglio a forma di “V” raccordato, soggetta a taglio nel piano.

In questa trattazione saranno considerati vari casi nei quali si varierà la geometria dell’ intaglio mentre le dimensioni assolute della piastra resteranno costanti.

Fatta l’ analisi per ogni piastra si andranno a determinare le tensioni sulla bisettrice dell’ intaglio calcolate col metodo agli elementi finiti.

Trovate queste tensioni, attraverso una formula matematica, andremo a determinare il fattore di intensificazione delle tensioni K_{2p} , il pedice “2” significa che tale fattore è calcolato considerando un carico di taglio nel piano del componente, mentre la lettera “p” indica che si sta analizzando un intaglio raccordato.

I fattori di intensificazione delle tensioni negli intagli (NSIFs: The Notch Intensity Factors) quantificano le intensità delle sollecitazioni lineari elastiche asintotiche distribuite su un intaglio, in base alle modalità di carico del componente si trovano tre fattori di intensificazione delle tensioni.

La soluzione di un componente avente un intaglio senza raggio di raccordo è diversa rispetto alla soluzione di un componente avente un intaglio raccordato, in prossimità dell’ apice dell’ intaglio. Se però il raggio di raccordo dell’ intaglio tende ad essere piccolo le due soluzioni tendono ad essere coincidenti. Quindi, anche su un componente meccanico avente un intaglio raccordato, i fattori di intensificazione delle tensioni potrebbero essere dei parametri che governano la frattura se il raggio nell’ apice dell’ intaglio è abbastanza piccolo; altrimenti essi possono essere visti come dei parametri nel campo delle tensioni, utili nel quantificare le distribuzioni di tensioni per uno specifico intaglio.

Calcolato il fattore K_{2p} , usando un metodo di tipo matematico si ricalcoleranno tutte le tensioni presenti sulla bisettrice dell’ intaglio. L’ obiettivo è proprio quello di confrontare le tensioni ottenute col metodo agli elementi finiti, con le tensioni ottenute con l’ approccio di tipo matematico. Per far questo i dati ottenuti, verranno messi a confronto inserendoli all’ interno dello stesso grafico, così facendo si avrà subito un riscontro di quanto i valori discostano tra loro. Analizzando questi grafici potremmo capire in che misura il metodo matematico approssimerà il metodo agli elementi finiti.

2. Introduzione

2.1 Il calcolo delle tensioni

In passato per calcolare tensioni oppure indici e fattori su componenti di vario genere venivano utilizzati principalmente due metodi: il primo di tipo matematico e il secondo di tipo sperimentale.

Questi metodi hanno però dei limiti, in quanto il primo consente un'analisi accurata attraverso formule ma solamente su componenti aventi una geometria semplice, se invece il componente presenta una forma geometrica complicata ne consegue infatti, quasi sempre, una complicazione delle formule e dei calcoli da eseguire.

Altro aspetto importante da valutare è che la maggior parte delle volte la relazione matematica che si ottiene è solamente un' approssimazione dell' andamento reale delle tensioni di conseguenza i risultati ottenuti non sempre sono accurati.

Il metodo di tipo sperimentale invece presenta il difetto di richiedere la realizzazione fisica del componente sul quale poter fare dei test. Per ricavare una legge devono essere effettuate molte prove su più componenti, si utilizza poi un adeguato software, il quale interpolando i risultati ottenuti riesce a ricavare una legge.

In questo caso si ricorda che tali prove possono essere costose, infatti per essere eseguite richiedono la disponibilità di macchinari specifici, inoltre a volte possono essere anche distruttive.

Si può comprendere quindi che questi due metodi non forniscono un approccio flessibile al problema.

Negli ultimi anni abbiamo assistito ad una notevole evoluzione della capacità di calcolo dei processori, ecco perché al giorno d'oggi, ai metodi descritti in precedenza, si preferisce usare degli approcci di tipo numerico utilizzando quindi dei programmi software.

2.2 Il metodo agli elementi finiti (FEM)

Il metodo agli elementi finiti, detto anche FEM (Finite Element Method), è un metodo di tipo numerico che sta alla base di numerosi codici di calcolo. Viene usato per risolvere in modo approssimato problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali riducendo queste ultime ad un sistema di equazioni algebriche.

Questo metodo discretizza il dominio continuo di partenza in un dominio discreto, detto mesh. Per fare ciò usa delle primitive che sono elementi finiti, per esempio di forma quadrilatera, caratterizzati ognuno da un certo numero di nodi. Su ciascun elemento dotato di questa forma elementare, la soluzione del problema è espressa dalla combinazione lineare di funzioni forma o shape functions. Maggiore è il numero degli elementi in cui il dominio viene diviso, maggiore è l' accuratezza del risultato finale. Bisogna però considerare che l' utilizzo di un numero elevato di elementi comporta una notevole quantità di calcoli e quindi un aumento dei tempi di attesa, per questo si dovrà cercare un compromesso.

Per trovare un buon compromesso di solito si esegue un' analisi di sensitività, essa consiste nell' effettuare un certo numero di analisi del componente in questione aumentando ogni volta il numero di elementi utilizzati. Dopo un certo numero di prove i risultati ottenuti si avvicineranno sempre di più ad un valore asintotico di convergenza. Il numero di elementi da scegliere quindi è il minimo che garantisca come soluzione il valore asintotico.

Di solito viene utilizzata una griglia più fitta di elementi dove il componente presenta delle variazioni geometriche e quindi c'è bisogno di avere una risoluzione maggiore, mentre si utilizza una griglia meno fitta dove il componente presenta una geometria regolare.

2.3 Il programma Ansys

Il programma FEM (Finite Element Method) usato per analizzare le varie geometrie della piastra in questione è Ansys. Tale codice prevede di suddividere l'analisi del componente in tre fasi fondamentali.

- 1 Fase di Preprocessor: prevede la scelta del tipo di elemento, che andrà a comporre la griglia, e della legge costitutiva da adottare per descrivere il comportamento del materiale. È la fase in cui si effettua la realizzazione fisica del modello e la sua discretizzazione.

- 2 Fase di Solution: è la fase in cui vengono imposti i vincoli, vengono date eventuali condizioni di simmetria, viene definito il tipo di carico al quale il componente è sottoposto. Successivamente sempre in questa fase si procede con la soluzione del modello. Il programma quindi risolve le equazioni corrispondenti ad ogni nodo e vengono calcolati spostamenti, tensioni ...

- 3 Fase di Postprocessor: è la fase nella quale possiamo visualizzare e raccogliere i risultati ottenuti dalla simulazione. In particolare possiamo visualizzare la deformazione che le condizioni di carico impongono al componente analizzato, l'andamento delle varie componenti di tensione, si può rilevare queste tensioni in particolari punti del componente. In questa fase è possibile anche tabellare le tensioni trovate ed esportarle per elaborarle in un altro software.

Queste tre fasi fondamentali dell'analisi del componente saranno spiegate in dettaglio nelle pagine seguenti.

3. Analisi

3.1 Descrizione del componente

Il componente da analizzare è una piastra soggetta a taglio nel piano (con un carico di taglio costante per i vari casi di 100 MPa, $\tau_{n,g} = 100 \text{ MPa}$) indebolita da un intaglio a forma di “V” raccordato.

La piastra in questione presenta una larghezza di 100 mm e una altezza di 300 mm.

In questa trattazione si analizzano dieci casi differenti variando in essi l’angolo di apertura dell’intaglio e il raggio di raccordo dell’ intaglio, mentre le dimensioni assolute della piastra restano costanti.

Di seguito viene riportata una figura con la forma dell’ intaglio specifico di ogni piastra considerata. Inoltre si riportano i valori dell’ angolo (2α) di apertura dell’ intaglio e del raggio di raccordo (ρ) dell’ intaglio considerati per ogni piastra.

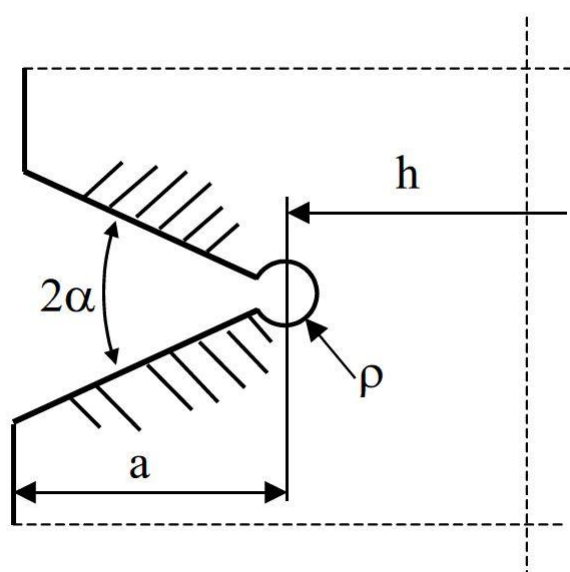


Figura 3.1.1 Geometria dell’ intaglio considerato

Nei casi in questione oltre alle dimensioni assolute della piastra resteranno costanti anche le distanze “a” e “h” visualizzate in figura 3.1.1. In particolare $h = 90$ mm mentre $a = 10$ mm.

Saranno quindi analizzate le seguenti dieci geometrie:

1. Piastre con $2\alpha = 60^\circ$

$$\rho = 0.1 \text{ mm};$$

$$\rho = 0.5 \text{ mm};$$

$$\rho = 1 \text{ mm};$$

$$\rho = 2 \text{ mm};$$

$$\rho = 4 \text{ mm};$$

2. Piastre con $2\alpha = 90^\circ$

$$\rho = 0.1 \text{ mm};$$

$$\rho = 0.5 \text{ mm};$$

$$\rho = 1 \text{ mm};$$

$$\rho = 2 \text{ mm};$$

$$\rho = 4 \text{ mm}.$$

3.2 Fase di Preprocessor

In questa fase la prima operazione da fare è quella di definire il tipo di elemento e il tipo di deformazione usati selezionando l'opzione *Solid-8node183* e *plane strain*.

Successivamente si procede definendo le proprietà del materiale: isotropo in campo lineare elastico con valore del coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$ e modulo di Young $E = 206000$ MPa.

Fatto questo si crea la geometria usando i *keypoints* ossia inserendo le coordinate dei punti che andranno a definire la geometria del componente. Visto che la piastra da analizzare è simmetrica rispetto alla bisettrice dell' intaglio, consideriamo solo metà della piastra che avrà quindi una larghezza di 100 mm e un' altezza di 150 mm.

Si procede con l' unire i keypoints usando delle linee, o degli archi per i keypoints del raccordo dell' intaglio, e con la creazione delle aree selezionando le linee vicine che formano dei rettangoli. A questo punto il modello geometrico è terminato.

Vengono riportate di seguito le figure relative ad alcuni di questi passi, prendendo come esempio la piastra con un angolo di apertura dell' intaglio $2\alpha = 90^\circ$ e il raggio di raccordo dell' intaglio $\rho = 1$ mm.

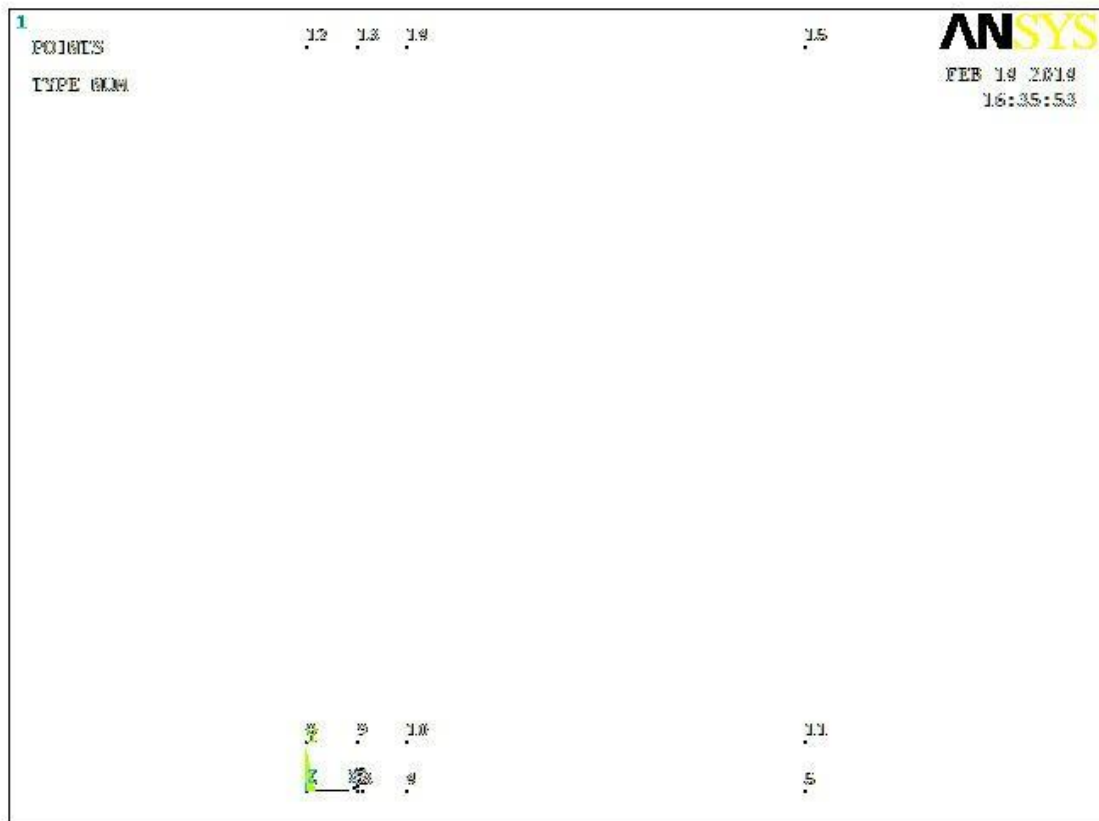


Figura 3.2.1 Keypoints

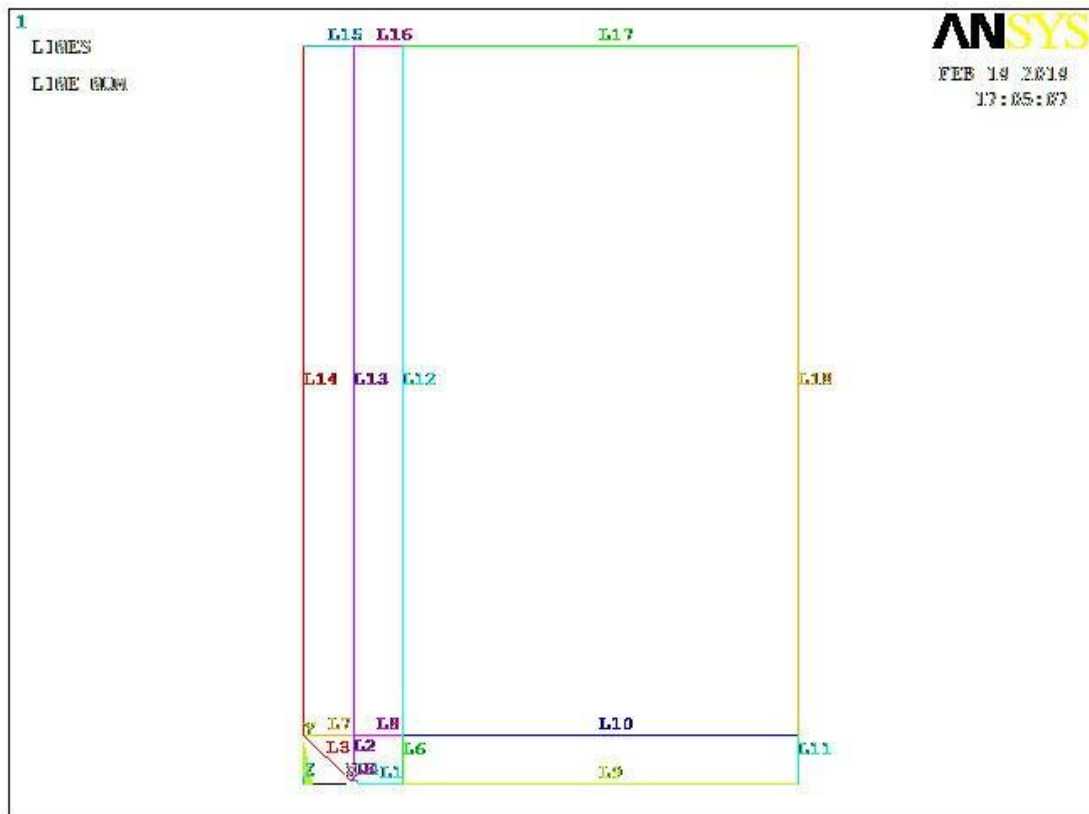


Figura 3.2.2 Linee

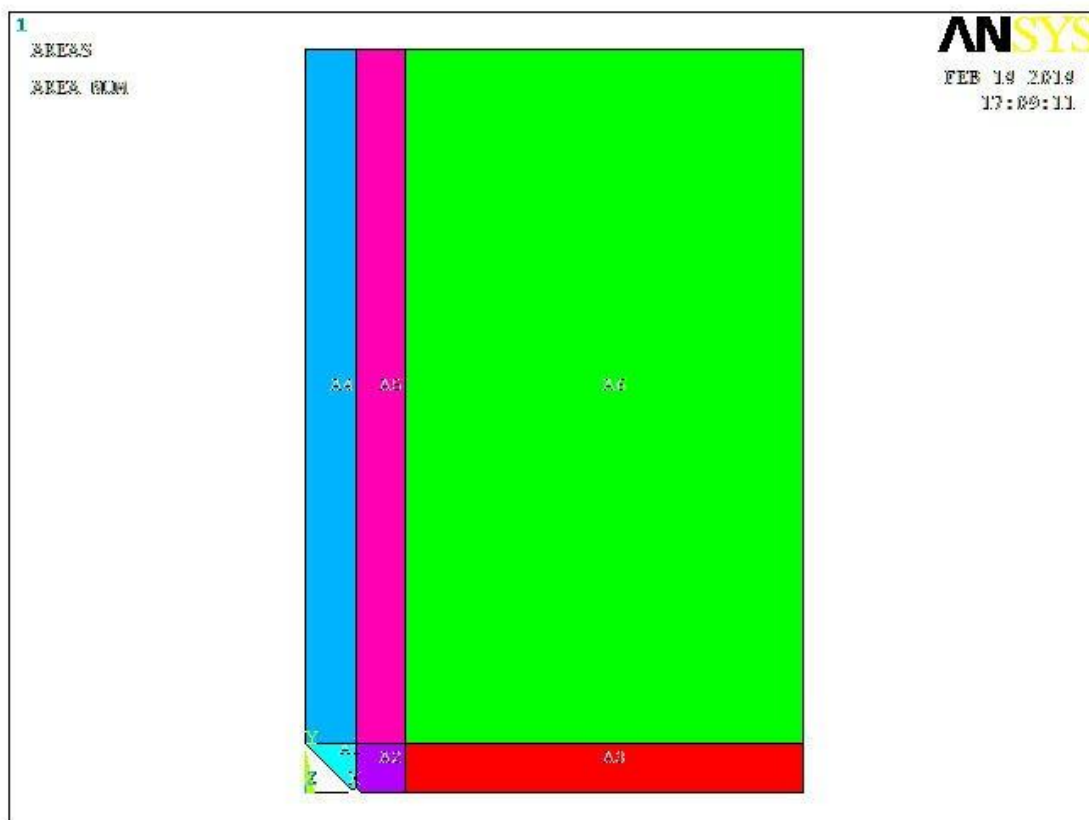


Figura 3.2.3 Aree

A questo punto si procede con la creazione della mesh in modo manuale (quindi con maggiore precisione) usando la modalità *mapped*. Gli elementi risulteranno più fitti vicino all' intaglio ossia nella zona di maggiore interesse.

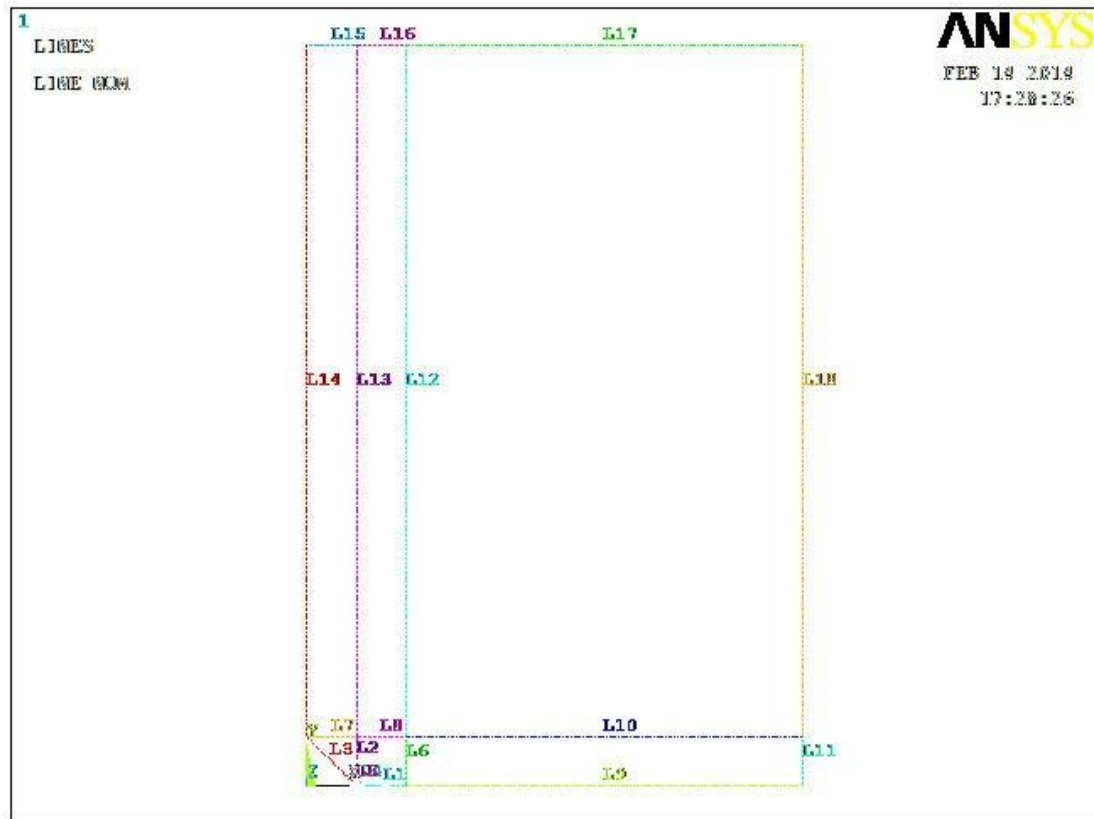


Figura 3.2.4 Elementi della mesh

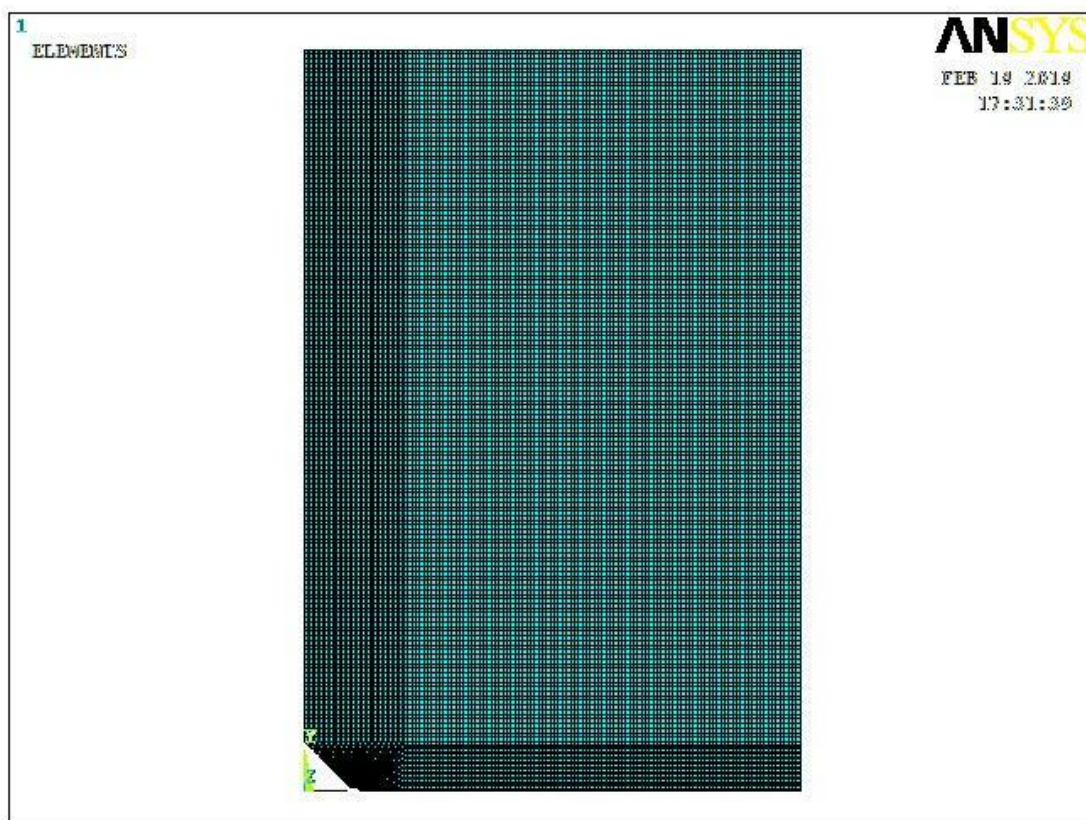


Figura 3.2.5 Mesh del componente

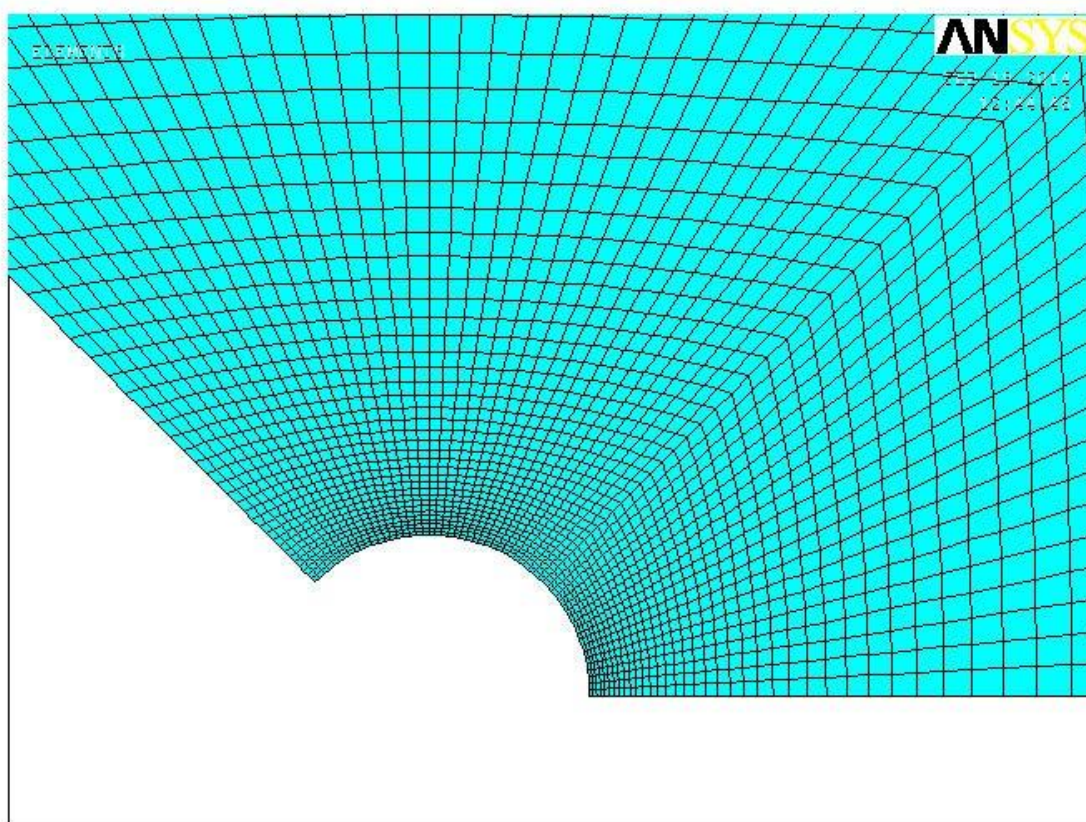


Figura 3.2.6 Zoom della mesh del componente vicino all' intaglio

3.3 Fase di Solution

In questa fase avviene l'applicazione dei vincoli e dei carichi al componente da analizzare. Nel nostro caso bisogna imporre uno spostamento $u_x = 0$ mm a tutti i nodi della bisettrice dell'intaglio, uno spostamento $u_y = 0$ mm ai nodi del fianco sinistro della piastra. Successivamente a tutti i nodi con coordinate x-150, cioè quelli posti nell'estremità superiore della piastra si dà uno spostamento $u_x = 0.059$ mm; a tutti i nodi con coordinate 100-y, facenti parte del lato verticale della piastra opposto all'intaglio si dà uno spostamento $u_y = 0.087$ mm. Dando ai nodi questi vincoli e questi spostamenti equivale a sottoporre la piastra ad un carico di taglio nel piano di 100 MPa. Il comando che permette di applicare gli spostamenti e i vincoli ai nodi, in Ansys, è sotto la voce: *Define Loads – Apply – Structural – Displacement* e si selezionano i nodi interessati. Si ricorda che valori positivi di spostamenti lungo l'asse y significa uno spostamento dei nodi verso l'alto, mentre valori positivi di spostamenti lungo l'asse x significa uno spostamento dei nodi verso destra. Fatto questo si lancia la soluzione del componente usando l'opzione *Solve* e specificando *Current LS*.

3.4 Fase di Postprocessor

Per visualizzare il risultato della soluzione si passa alla fase di Postprocessor selezionando *Plot result* e indicando che siamo interessati al risultato della tensione di taglio nel piano XY cioè in Ansys *XY Shear Stress*. Nella seguente figura è riportata la soluzione dell' elemento.

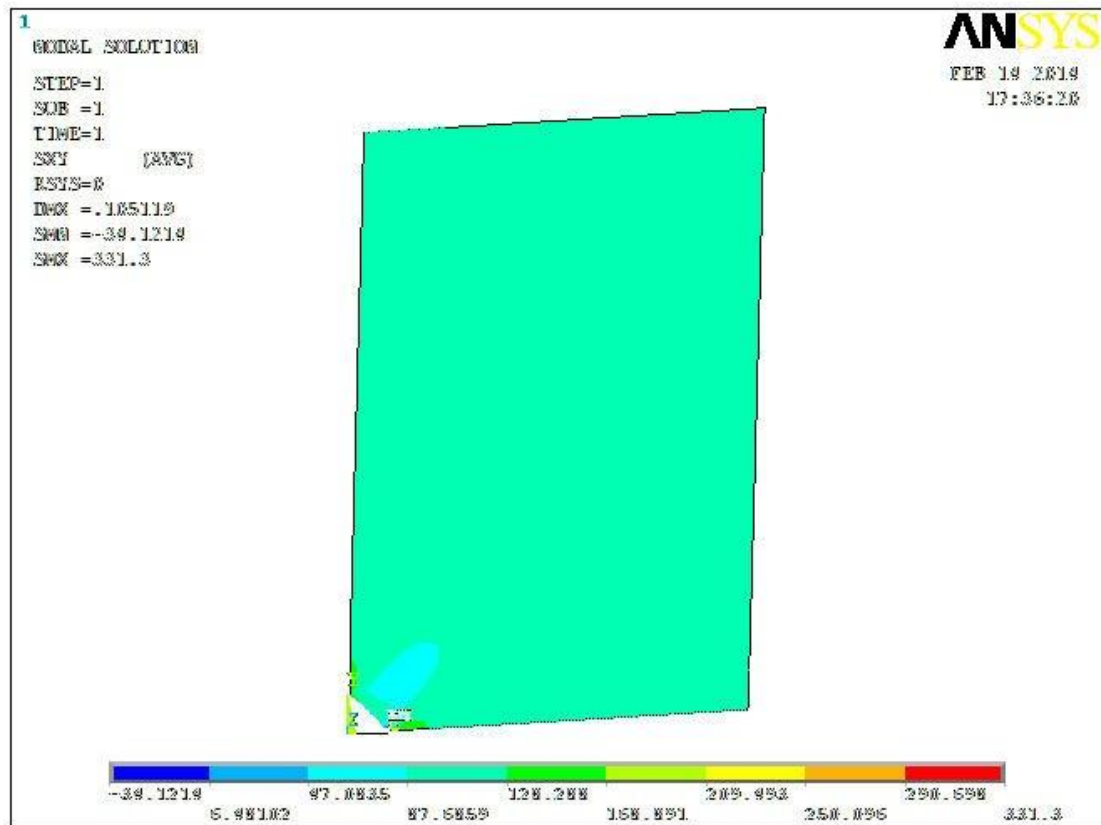


Figura 3.4.1 Soluzione dell' elemento

Nella seguente pagina è riportato uno zoom del risultato nella zona dell' intaglio dove si nota che lungo l' arco di circonferenza del raccordo dell' intaglio si passa dalla tensione massima a quella minima.

A noi però interessa la tensione lungo la bisettrice della piastra.

Lungo tale linea partendo dall' apice dell' intaglio si può notare come la tensione, inizialmente a zero, aumenta all' aumentare della distanza dall' apice dell' intaglio, per poi ad un certo punto diminuire arrivando, ad una certa distanza dall' apice dell' intaglio, a valori simili al carico di taglio applicato nel piano cioè $\tau_{n,g} = 100$ MPa.

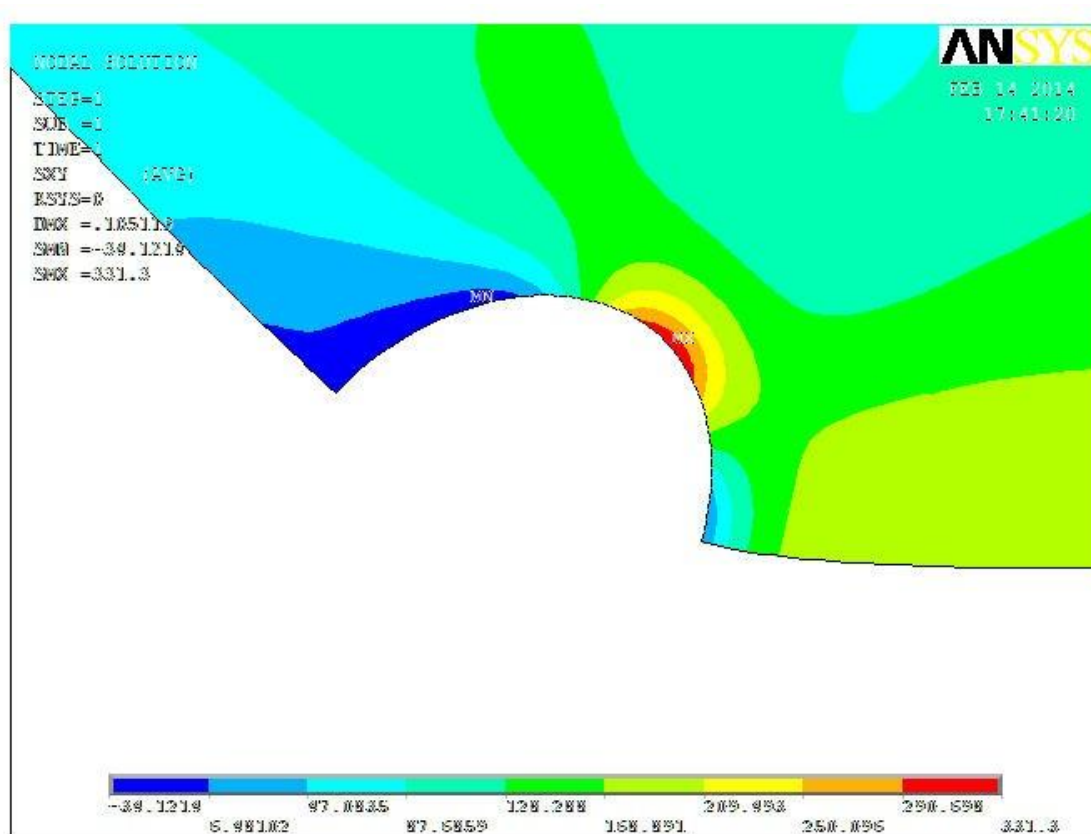


Figura 3.4.2 Zoom della zona dell' intaglio con relativa distribuzione delle tensioni

Fatto questo si può procedere con la valutazione precisa dell' andamento delle tensioni sulla bisettrice della piastra (zona che ci interessa). Per far questo usiamo l' operazione di *path* e definiamo tale path selezionando, uno ad uno e ordinatamente, i nodi che lo compongono lungo il percorso che va dall' apice dell' intaglio verso il lato destro della piastra.

Usando poi la modalità *Plot Path Item* si può visualizzare il grafico relativo all' andamento delle tensioni.

Eseguita questa operazione i dati forniti dalla path, si possono salvare in un file in modo da essere elaborati con un altro programma.

4. Formulario

Di seguito si riportano le formule utilizzate in questa trattazione, esse sono tratte da [1], [2] e [3].

- Calcolo del modulo di elasticità tangenziale G espresso in MPa. In questa formula compare E che è il modulo di elasticità longitudinale o modulo di Young e ν che è il coefficiente di Poisson.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

- Riportiamo adesso la formula per il calcolo del taglio nominale nel piano $\tau_{n,g} = 100$ MPa. Partendo da tale formula e facendo alcuni conti, sapendo il valore del taglio nominale, è possibile trovare il valore degli spostamenti da assegnare ai nodi per imporre proprio tale carico di taglio alla piastra. Gli spostamenti calcolati nel nostro caso sono $u_x = 0.059$ mm e $u_y = 0.087$ mm.

$$\tau_{n,g} = 100 = G \frac{100 \times u_{x0} + 150 \times u_{y0}}{100 \times 150}$$

- Successivamente si riporta la formula per il calcolo del fattore di intensificazione delle tensioni $K_{2\rho}$ espresso in [MPa mm^{1 - λ_2}]. La $\tau_{r\theta}(r,0)$ rappresenta la tensione calcolata dal programma Ansys lungo la bisettrice dell' intaglio.

$$K_{2\rho} = \frac{\sqrt{2\pi} r^{1-\lambda_2} \tau_{r\theta}(r,0)}{\left[1 + h_1 \left(\frac{\rho}{r} \right)^{2\lambda_2} + h_2 \left(\frac{\rho}{r} \right)^{2\lambda_2+1} + h_3 \left(\frac{\rho}{r} \right)^{2\lambda_2+2} \right]}$$

- Formula per il calcolo delle tensioni, col metodo matematico, lungo la bisettrice dell' intaglio.

$$\tau_{r\theta} = \frac{K_{2\rho} r^{\lambda_2-1}}{\sqrt{2\pi}} \left[1 + h_1 \left(\frac{\rho}{r} \right)^{2\lambda_2} + h_2 \left(\frac{\rho}{r} \right)^{2\lambda_2+1} + h_3 \left(\frac{\rho}{r} \right)^{2\lambda_2+2} \right]$$

Nelle ultime due formule riportate ρ è il raggio di raccordo dell' intaglio espresso in millimetri, mentre la distanza r , sempre espressa in millimetri, è la somma tra il raggio di raccordo ρ dell' intaglio e la distanza dall' apice dell' intaglio ad un punto lungo la bisettrice dell' intaglio nel quale si vuole calcolare la tensione e il fattore K_{2p} . Sempre in queste ultime formule compaiono dei coefficienti adimensionali, essi variano al variare dell' angolo di apertura dell' intaglio 2α , mentre restano costanti al variare del raggio di raccordo ρ dell' intaglio.

Nella successiva tabella si riportano i valori dei vari coefficienti utilizzati, essi sono tabellati in [1].

2α (°)	60	90
λ_2	0.7309	0.9085
$1 - \lambda_2$	0.2691	0.0915
$2\lambda_2$	1.4618	1.8171
$\lambda_2 - 1$	-0.2691	-0.0915
h_1	1.6941	1.7782
h_2	-0.4849	-0.3921
h_3	-2.2092	-2.3861

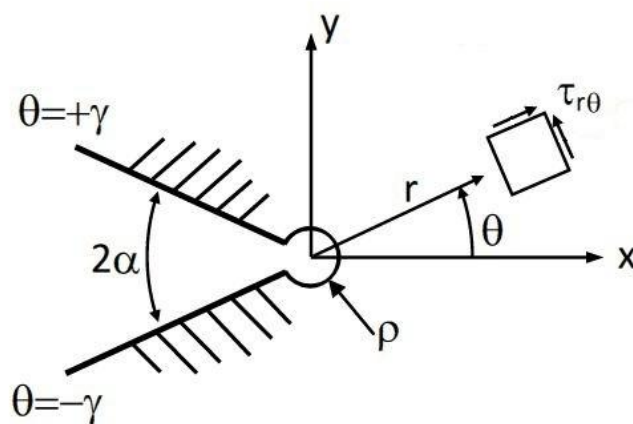


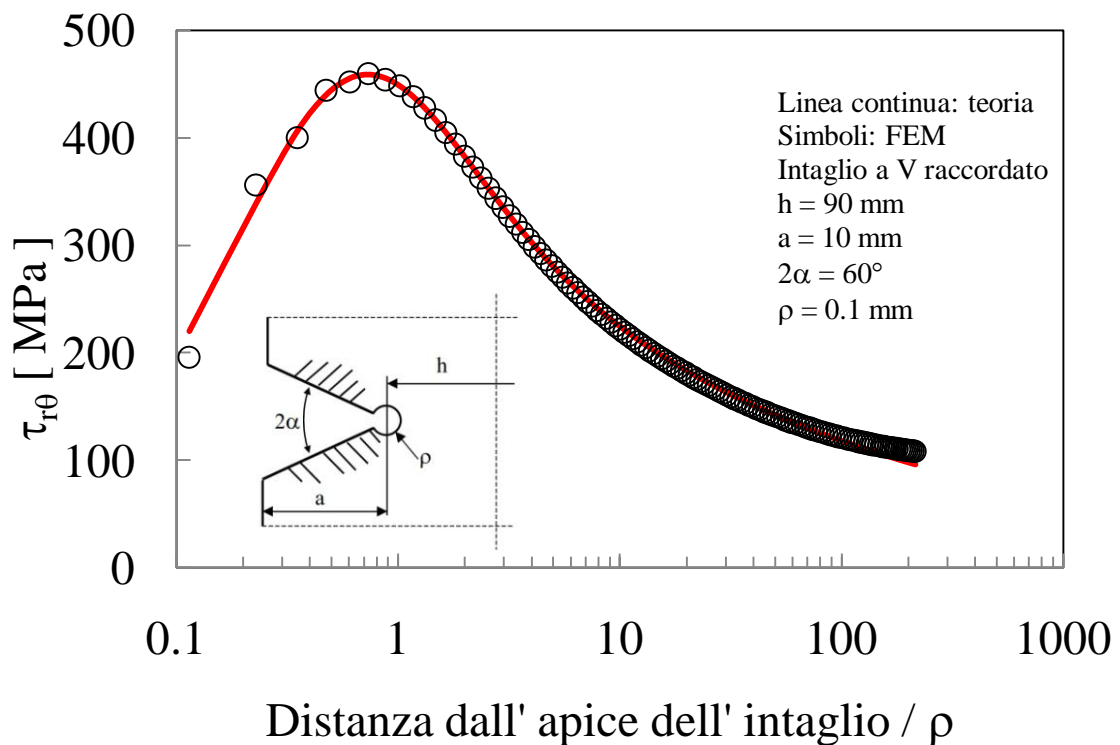
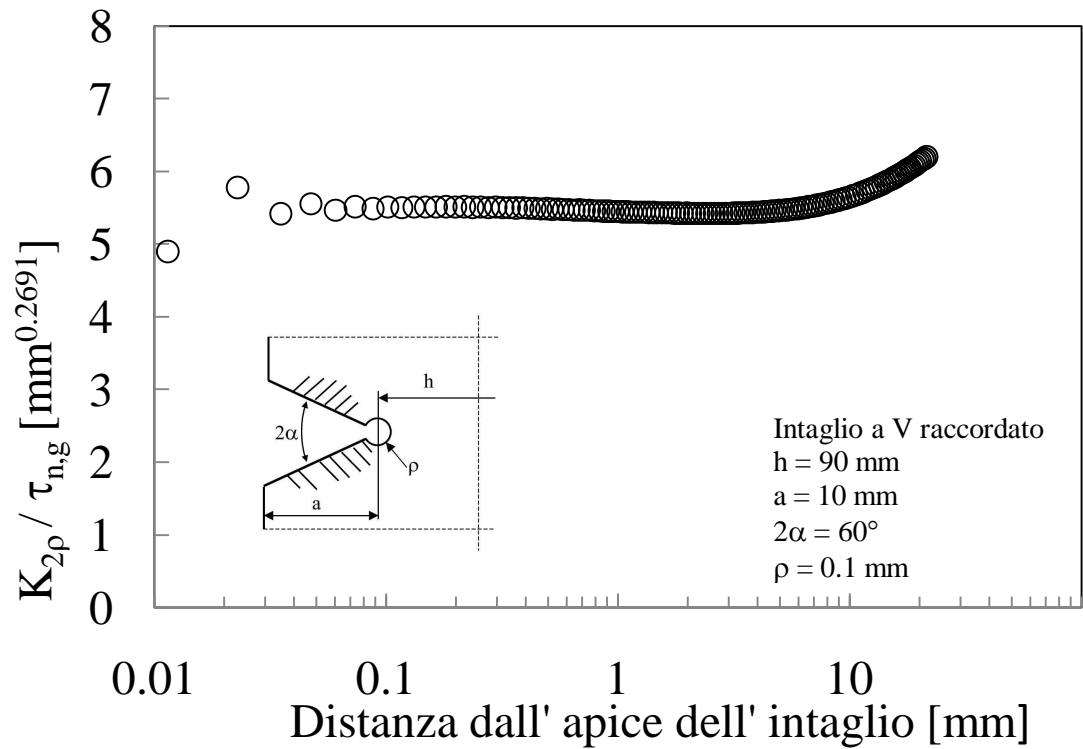
Figura 4.1 Intaglio e componenti di tensione nel caso considerato.

5. Risultati ottenuti

Nelle prossime pagine si riportano i risultati ottenuti dalle analisi di ogni piastra.

In ogni pagina sono presenti due grafici per ogni caso analizzato. Nel primo grafico, nell'asse delle ordinate è presente il fattore di intensificazione delle tensioni K_{2p} diviso per il valore del carico nominale di taglio $\tau_{n,g}$, mentre nell'asse delle ascisse è presente la distanza in millimetri dall'apice dell'intaglio. Analizzando questo grafico si trova una zona dove il valore del fattore K_{2p} è costante, tale valore è il fattore di intensificazione delle tensioni proprio della piastra e si usa nella formula per la determinazione, col metodo matematico, della tensione τ_{r0} lungo la bisettrice dell'intaglio. Nel secondo grafico invece sono messe a confronto le tensioni calcolate col metodo matematico con quelle calcolate col metodo agli elementi finiti.

5.1 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 0.1$ mm

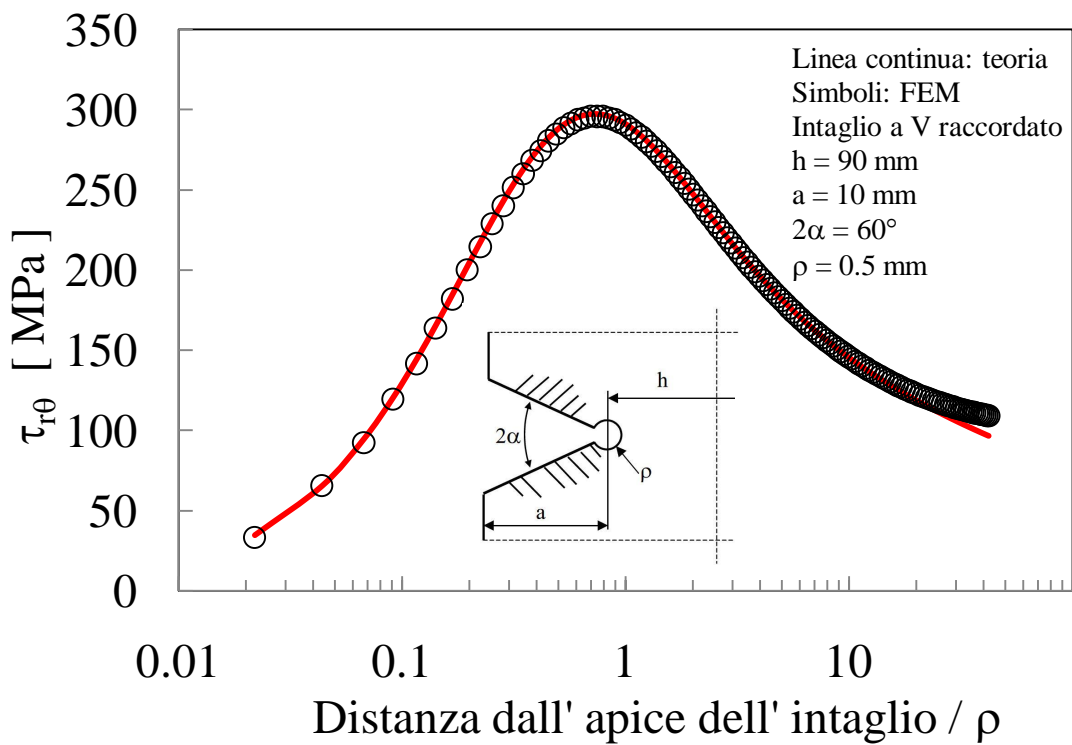
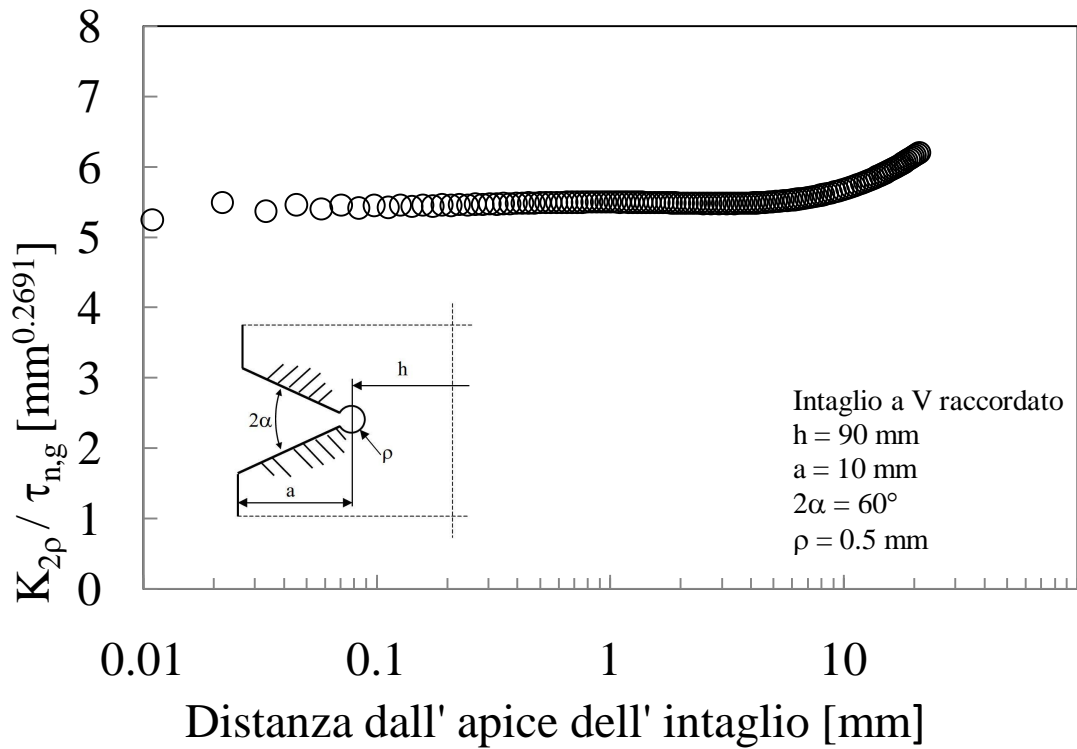


$$K_{2\rho} = 550.09 \text{ MPa mm}^{0.2691}$$

$$\tau_{r\theta \max} (\text{FEM}) = 459.46 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max} (\text{Teoria}) = 458.55 \text{ MPa}$$

5.2 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 0.5$ mm

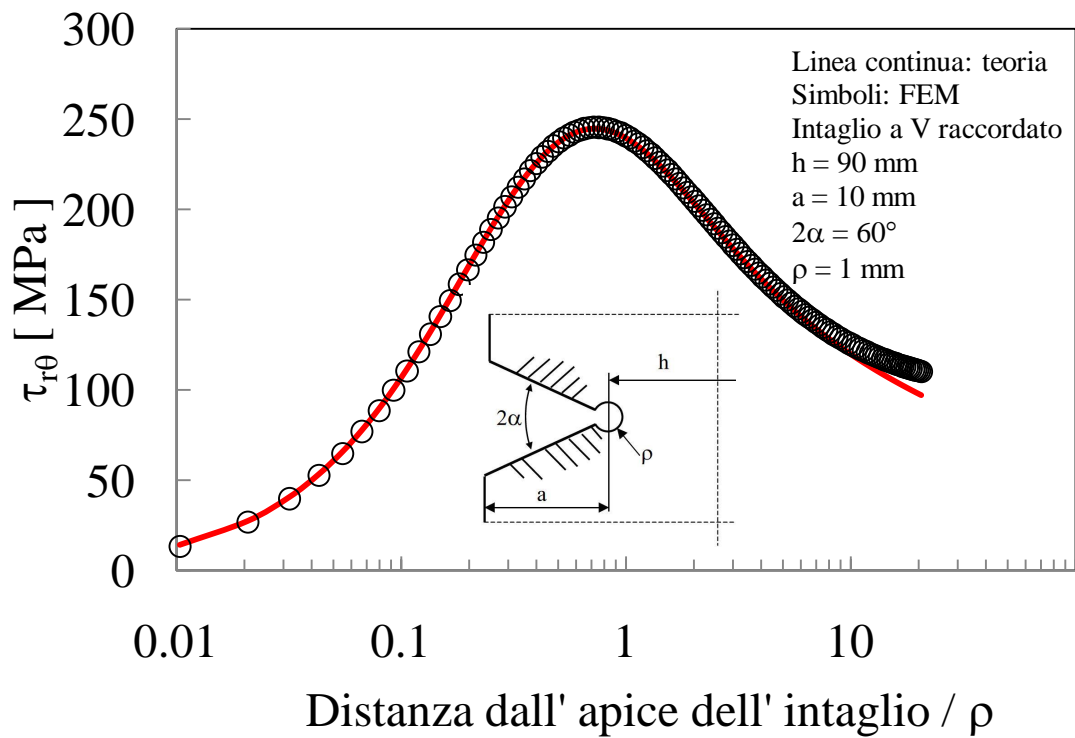
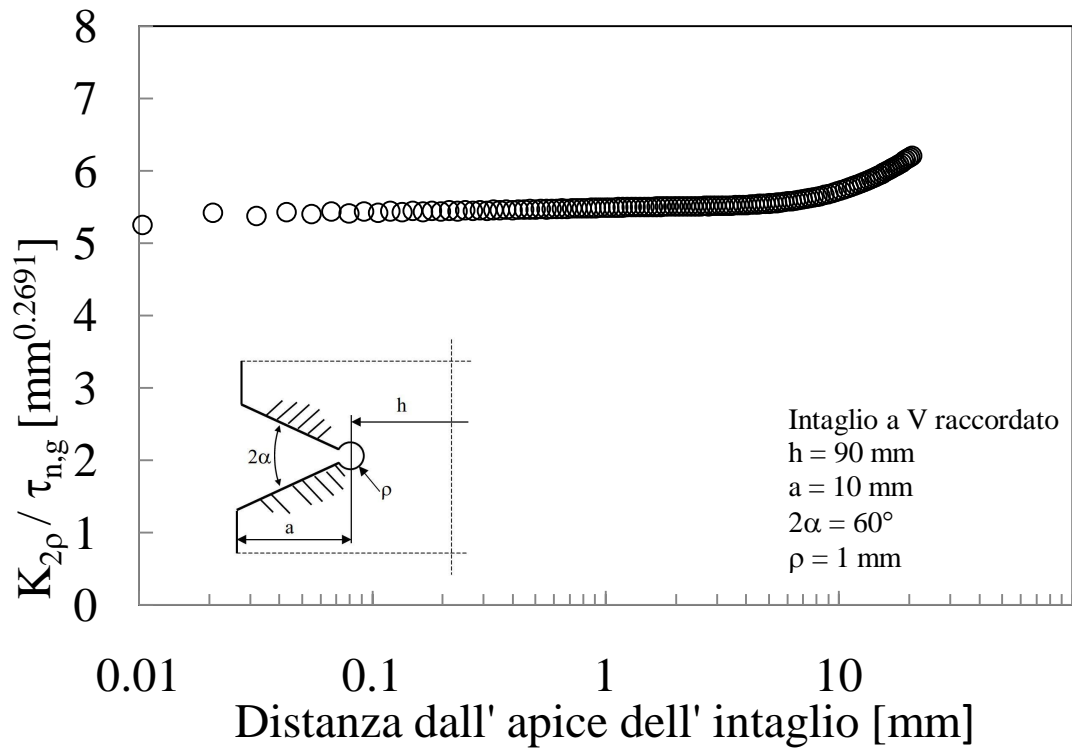


$$K_{2\rho} = 549.31 \text{ MPa mm}^{0.2691}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{FEM}) = 295.85 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{Teoria}) = 296.86 \text{ MPa}$$

5.3 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 1$ mm

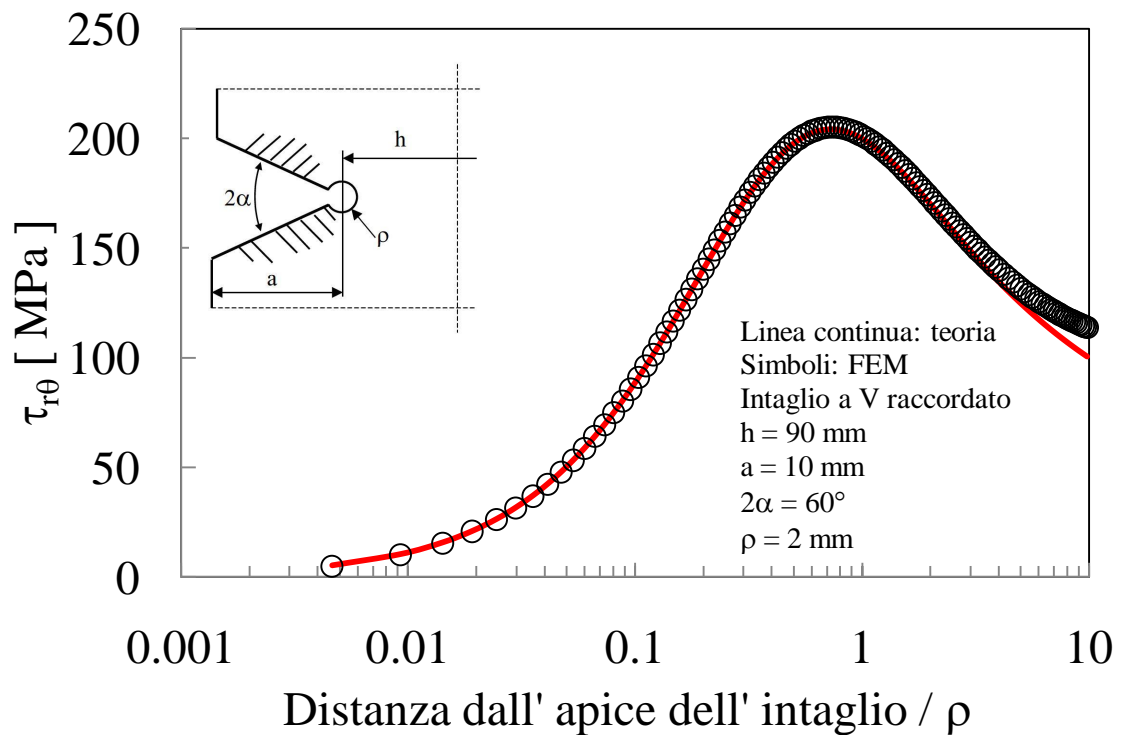
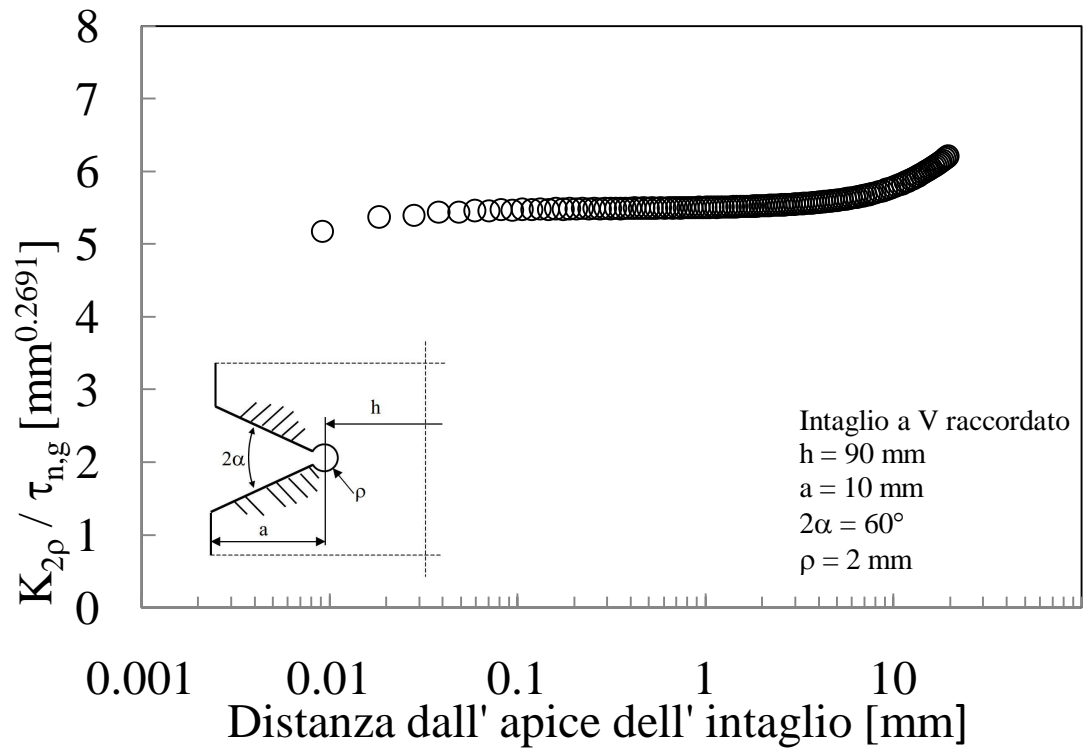


$$K_{2\rho} = 545.41 \text{ MPa mm}^{0.2691}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{FEM}) = 245.64 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{Teoria}) = 244.67 \text{ MPa}$$

5.4 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 2$ mm

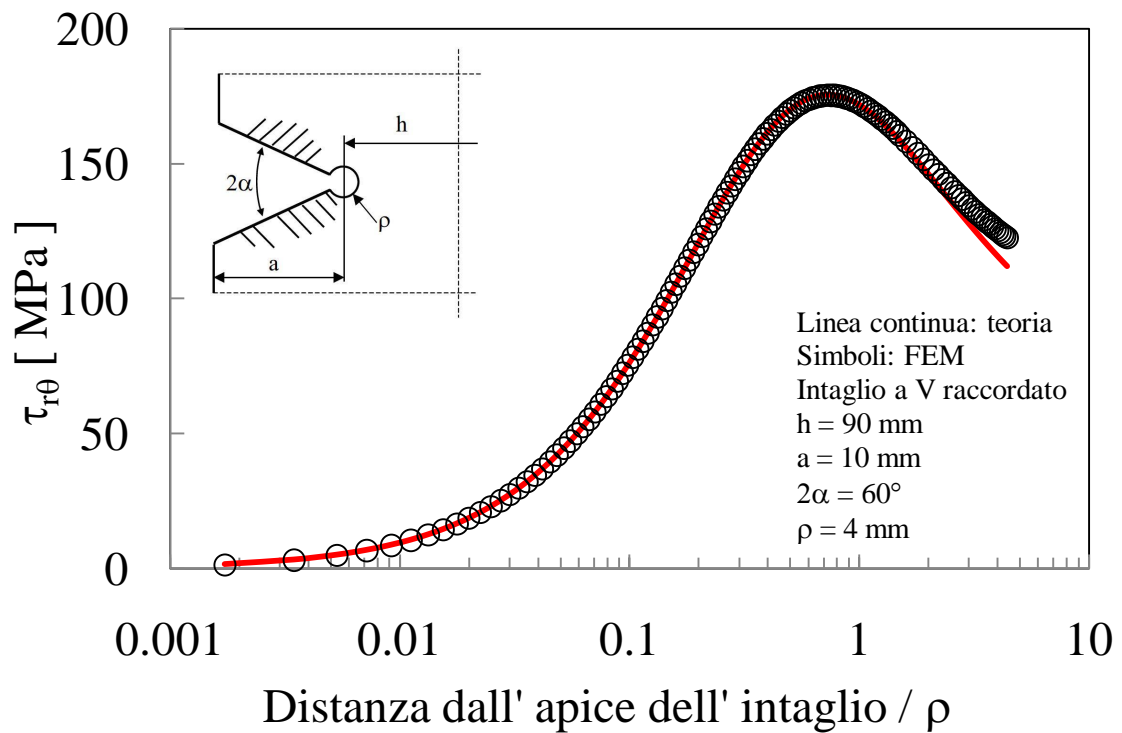
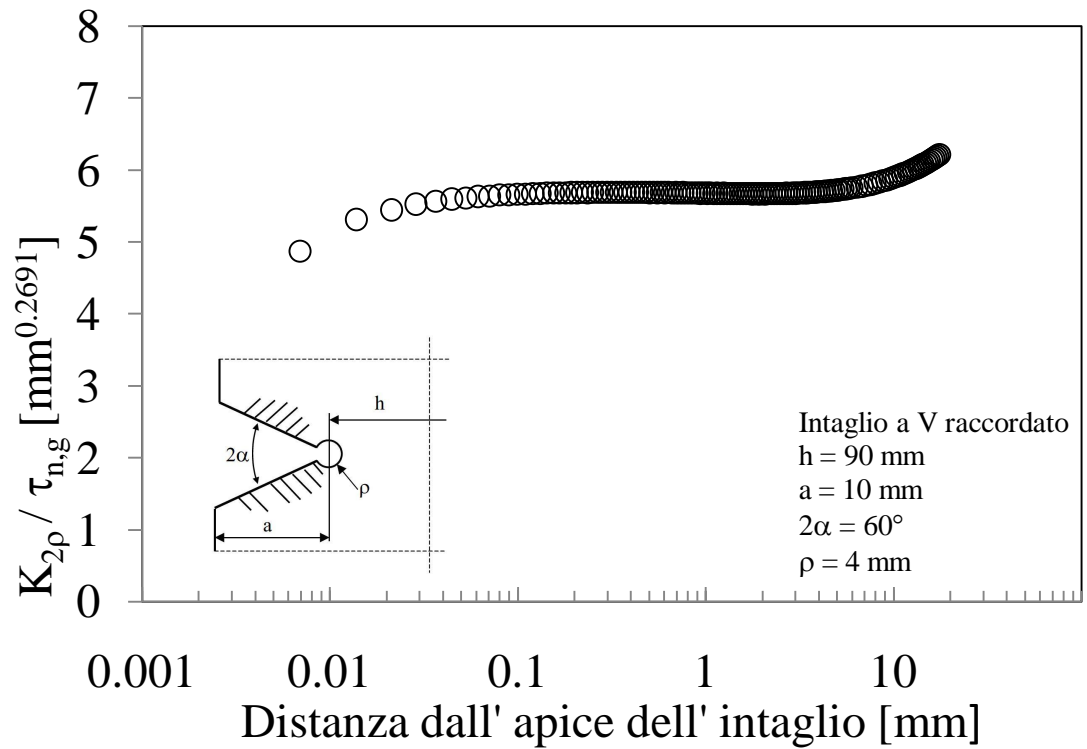


$$K_{2\rho} = 548.8 \text{ MPa mm}^{0.2691}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{FEM}) = 205.16 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{Teoria}) = 204.27 \text{ MPa}$$

5.5 Piastra $2\alpha = 60^\circ$; $\rho = 4$ mm

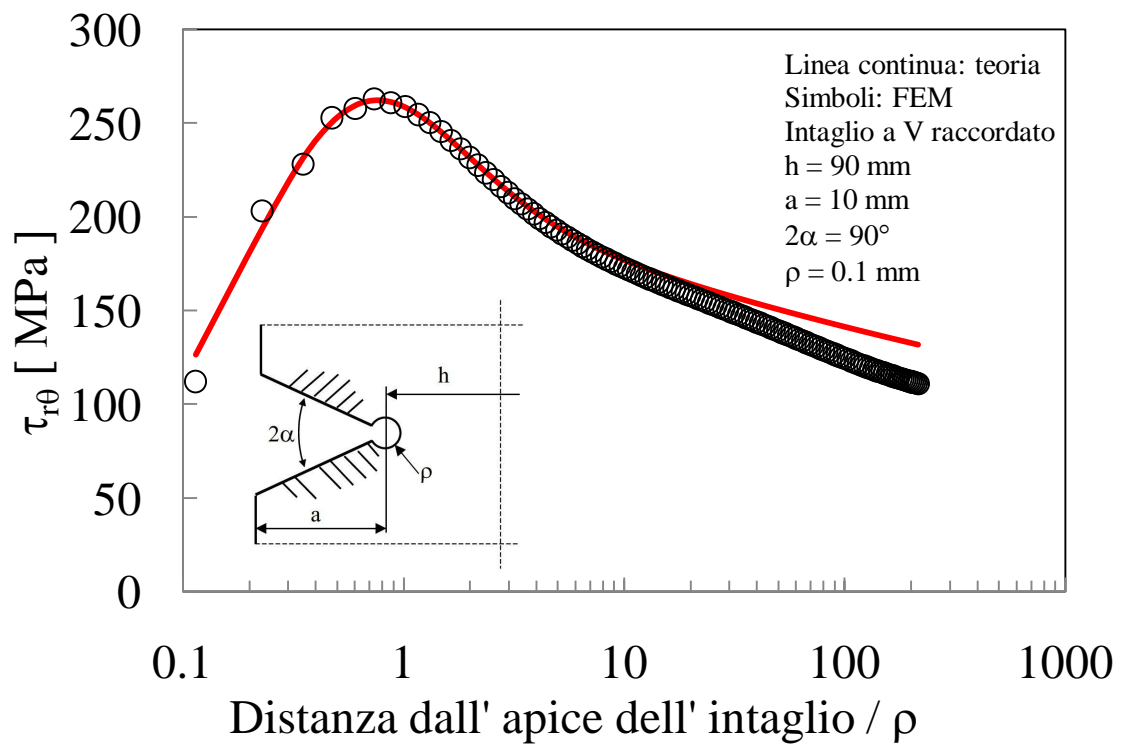
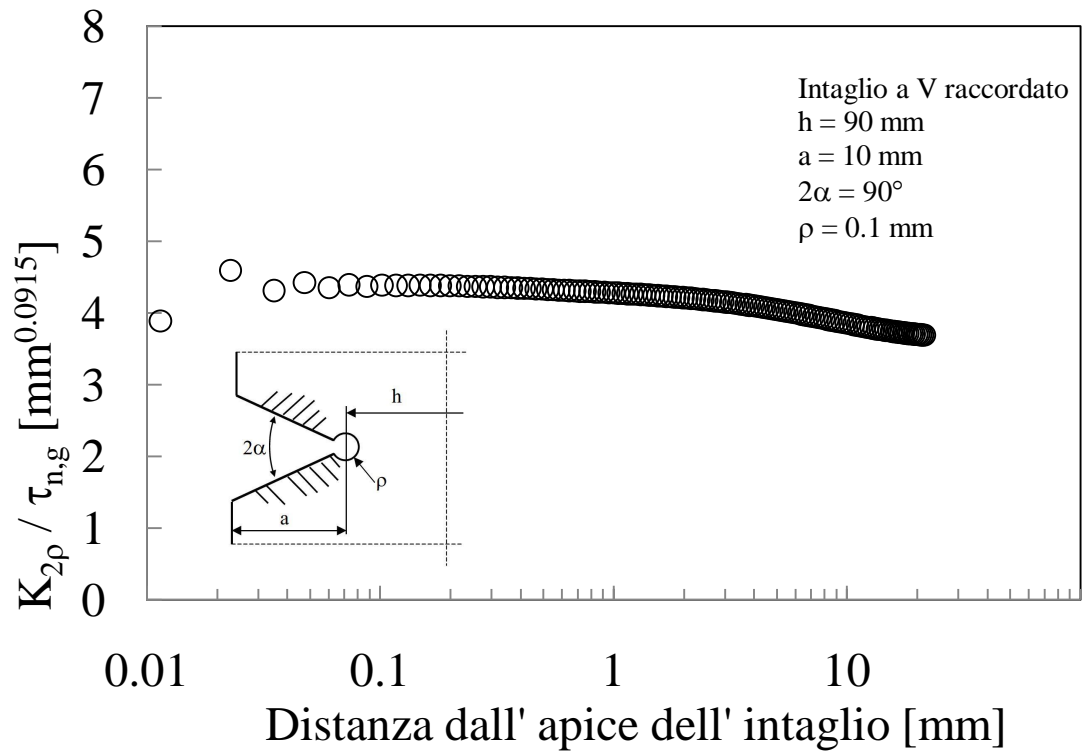


$$K_{2\rho} = 568.21 \text{ MPa mm}^{0.2691}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{FEM}) = 175.22 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{Teoria}) = 175.54 \text{ MPa}$$

5.6 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 0.1$ mm

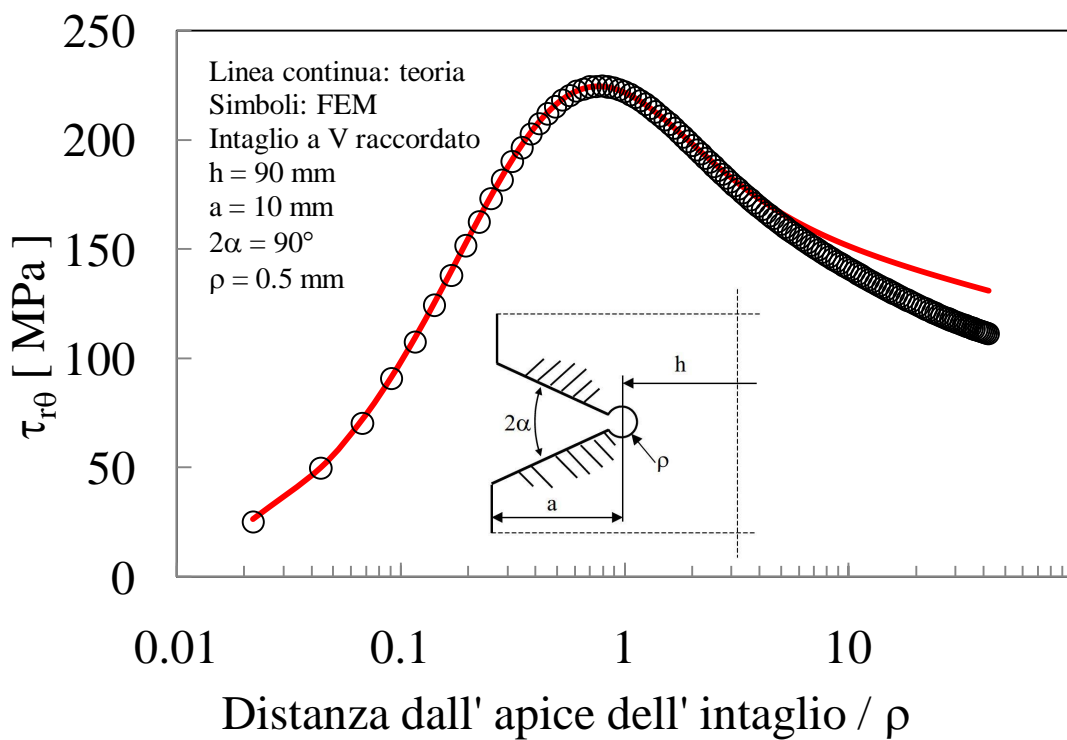
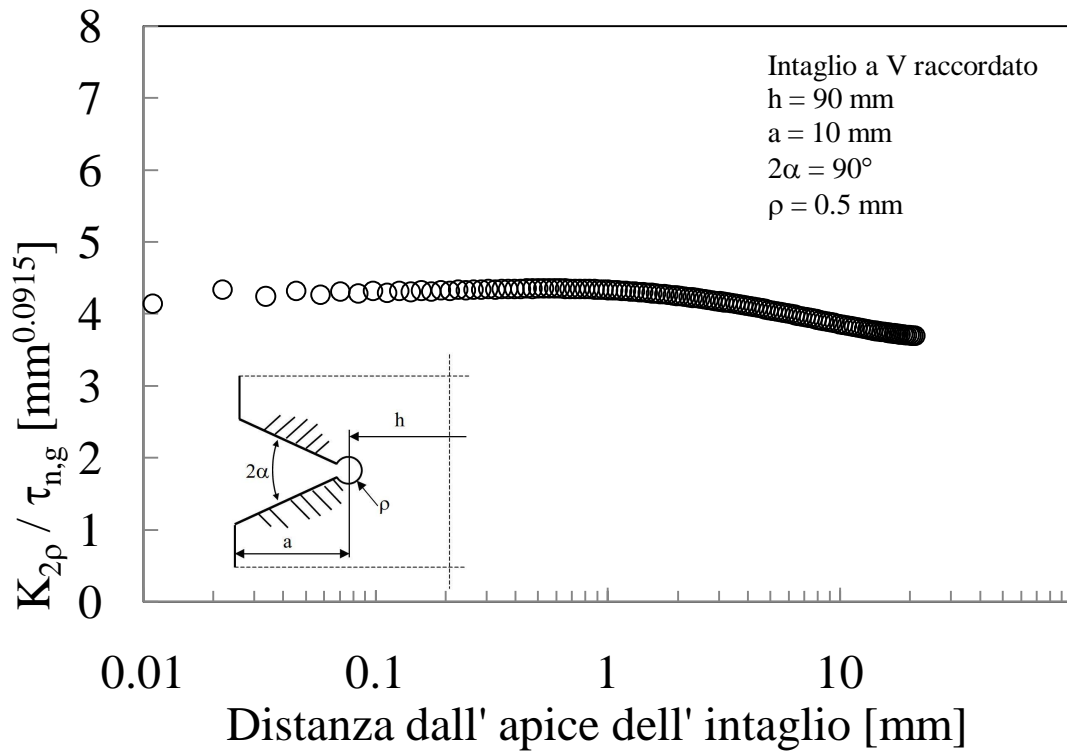


$$K_{2\rho} = 437.9 \text{ MPa mm}^{0.0915}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{FEM}) = 262.86 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{Teoria}) = 262.29 \text{ MPa}$$

5.7 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 0.5$ mm

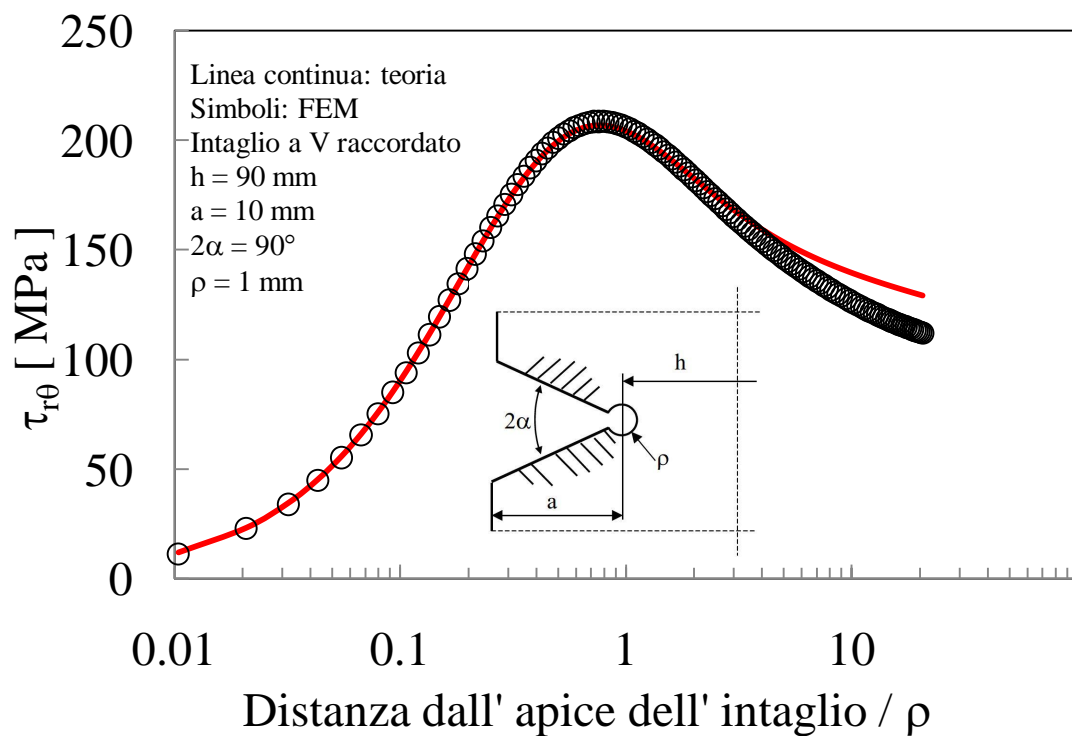
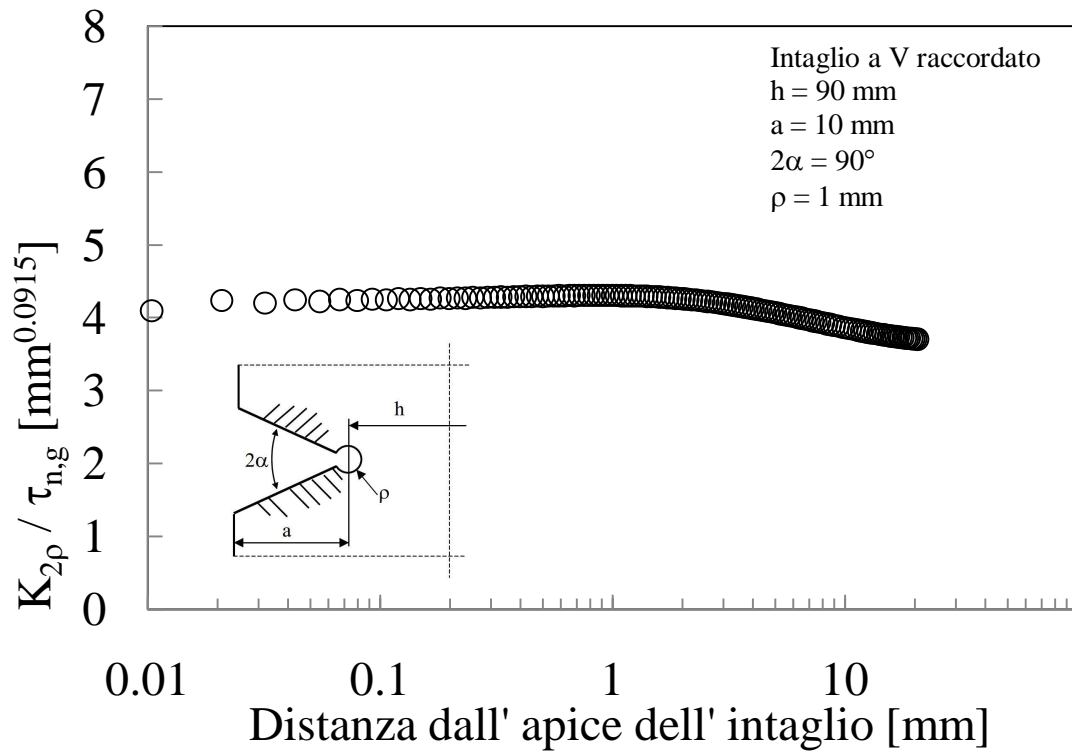


$$K_{2\rho} = 434.06 \text{ MPa mm}^{0.0915}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{FEM}) = 224.63 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{Teoria}) = 224.38 \text{ MPa}$$

5.8 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 1$ mm

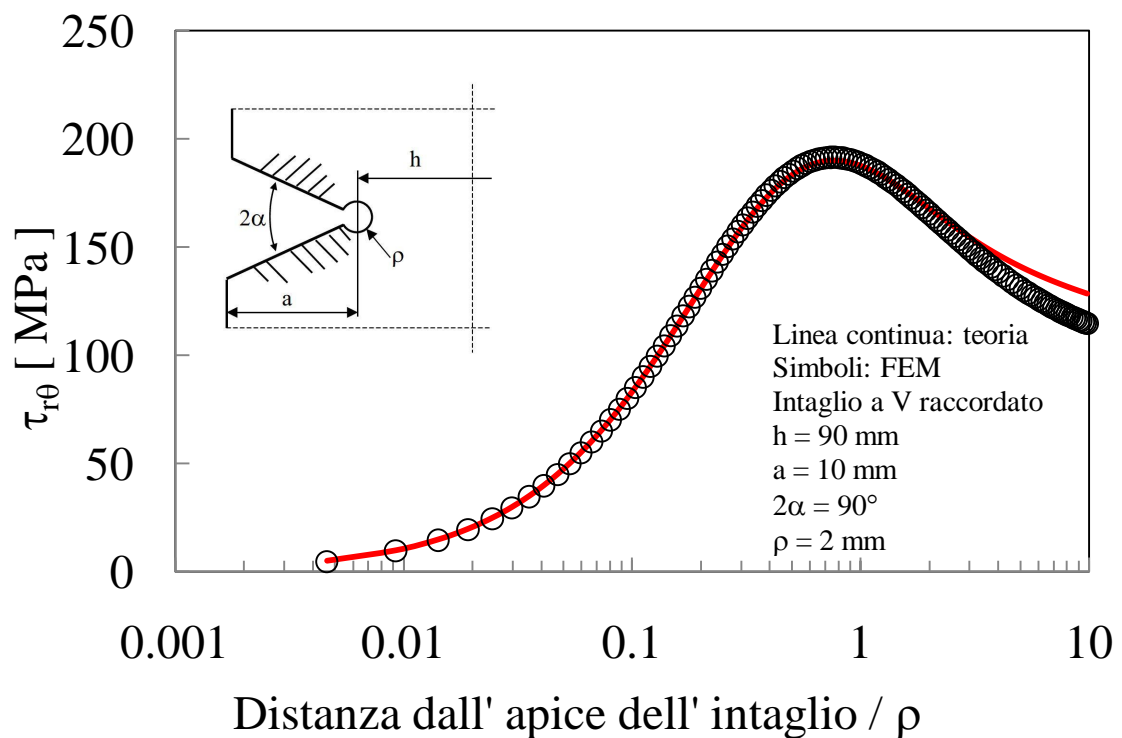
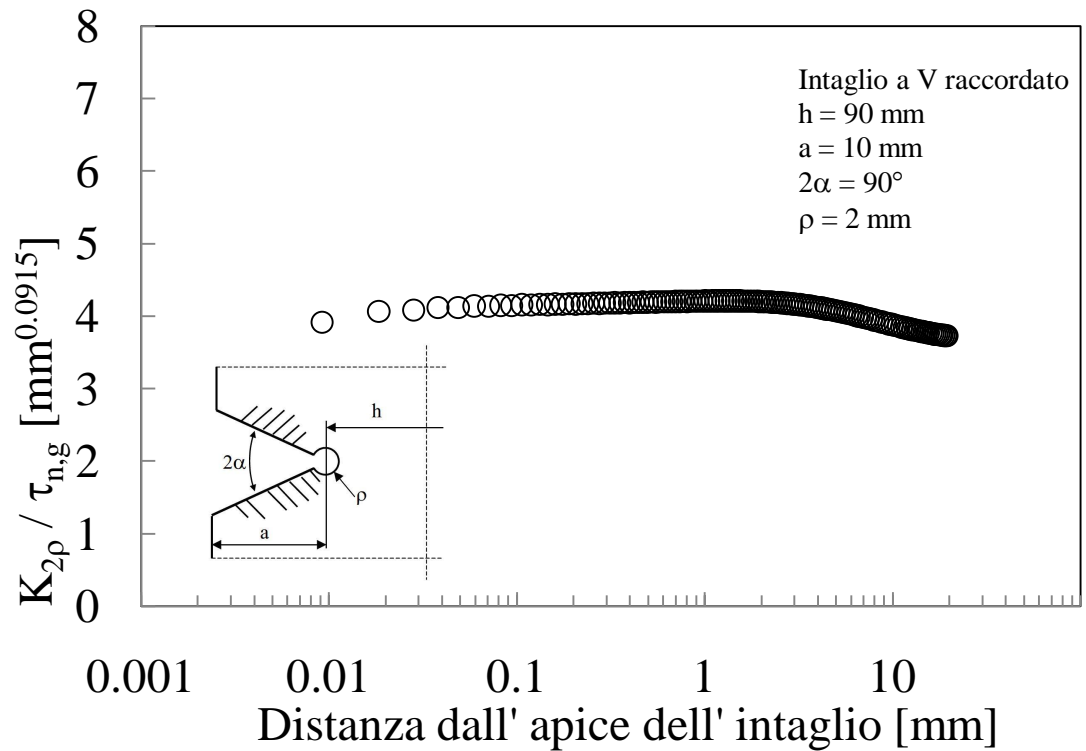


$$K_{2\rho} = 426.5 \text{ MPa mm}^{0.0915}$$

$$\tau_{r\theta \max} (\text{FEM}) = 208.7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max} (\text{Teoria}) = 206.98 \text{ MPa}$$

5.9 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 2$ mm

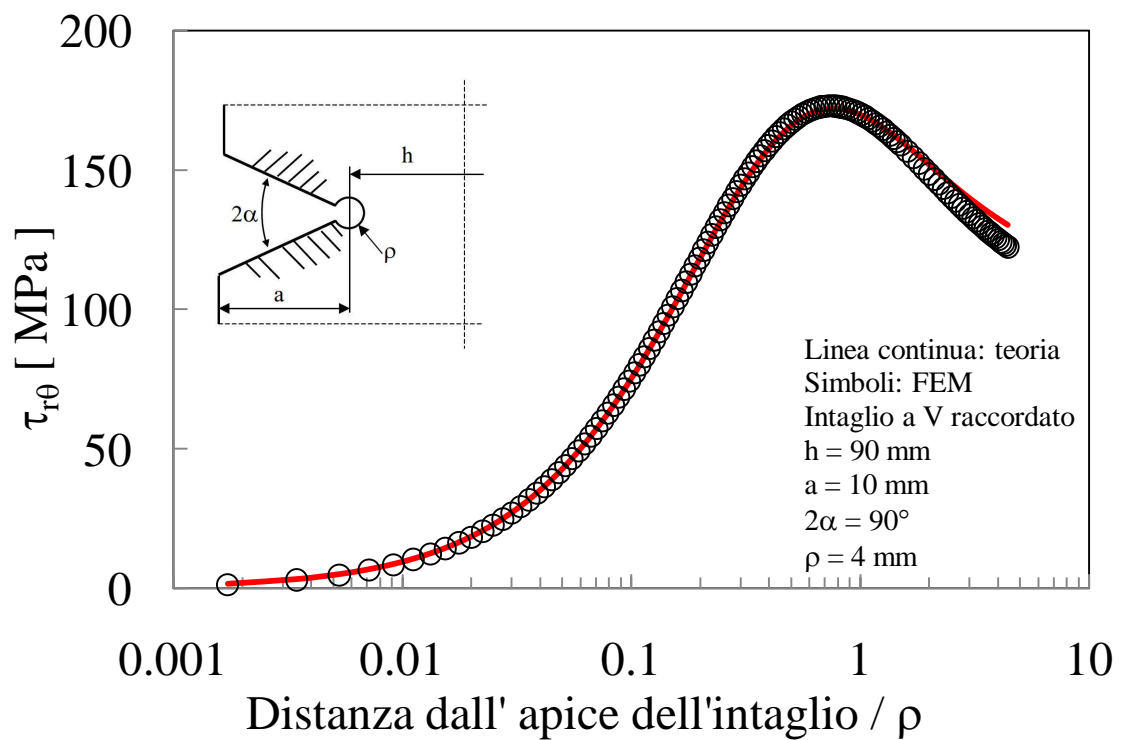
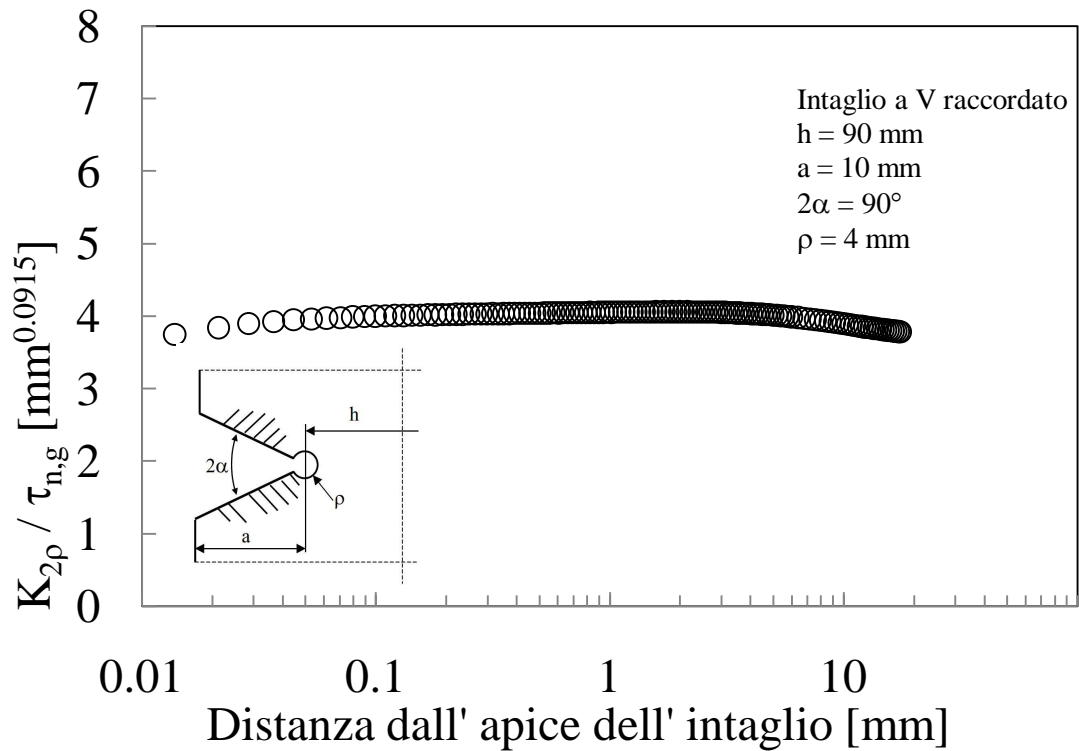


$$K_{2\rho} = 417.44 \text{ MPa mm}^{0.0915}$$

$$\tau_{r\theta \max} (\text{FEM}) = 191.64 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max} (\text{Teoria}) = 190.14 \text{ MPa}$$

5.10 Piastra $2\alpha = 90^\circ$; $\rho = 4$ mm



$$K_{2\rho} = 402.5 \text{ MPa mm}^{0.0915}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{FEM}) = 173.08 \text{ MPa}$$

$$\tau_{r\theta \max}(\text{Teoria}) = 171.99 \text{ MPa}$$

6. Conclusioni

Come già anticipato in precedenza si può notare che la tensione di taglio $\tau_{r\theta}$ lungo la bisettrice dell' intaglio è zero nell' apice dell' intaglio, appena si comincia a spostarsi verso l' interno della piastra comincia ad aumentare arrivando ad un valore massimo. Raggiunto questo valore tale tensione comincia a calare ritornando, ad una certa distanza dall' apice dell' intaglio, a valori vicini al valore nominare di taglio nel piano $\tau_{n,g}$. Analizzando i grafici delle tensioni delle dieci piastre in questione, si nota che la tensione massima $\tau_{r\theta \max}$ raggiunta lungo la bisettrice dell' intaglio diminuisce all' aumentare del raggio di raccordo ρ dell' intaglio. Invece prendendo in considerazione due piastre aventi il raggio di raccordo dell' intaglio ρ uguale, ma un diverso angolo di apertura dell' intaglio 2α si può notare come la tensione massima lungo la bisettrice dell' intaglio sia più alta nel caso in cui l' angolo di apertura dell' intaglio è minore. Un altro aspetto da considerare è quello che il rapporto tra la distanza dall' apice dell' intaglio, dove si verifica la tensione di taglio massima, e il raggio di raccordo dell' intaglio è costante in tutte le piastre analizzate.

Per quanto riguarda il fattore di intensificazione delle tensioni K_{2p} si può notare che i primi valori calcolati vicino all' apice dell' intaglio oscillano un po', successivamente esso resta su valori costanti per un certo numero di misurazioni, la media di questi valori è il valore del fattore di intensificazione delle tensioni K_{2p} che è proprio di ogni piastra. Superata questa fase i valori trovati di K_{2p} iniziano a scostarsi rispetto al valore di K_{2p} proprio di ogni piastra, aumentando nelle piastre aventi un angolo di apertura dell' intaglio $2\alpha = 60^\circ$ e diminuendo nelle piastre aventi l' angolo di apertura dell' intaglio $2\alpha = 90^\circ$. Questo succede perché la formula usata per trovare il fattore di intensificazione delle tensioni, dopo una certa distanza dall' apice risulta essere meno precisa.

Nella pagina seguente si riporta un grafico con il valore del fattore di intensificazione delle tensioni K_{2p} proprio di ogni piastra, si nota che esso è più alto nei casi in cui l' angolo di apertura dell' intaglio è $2\alpha = 60^\circ$.

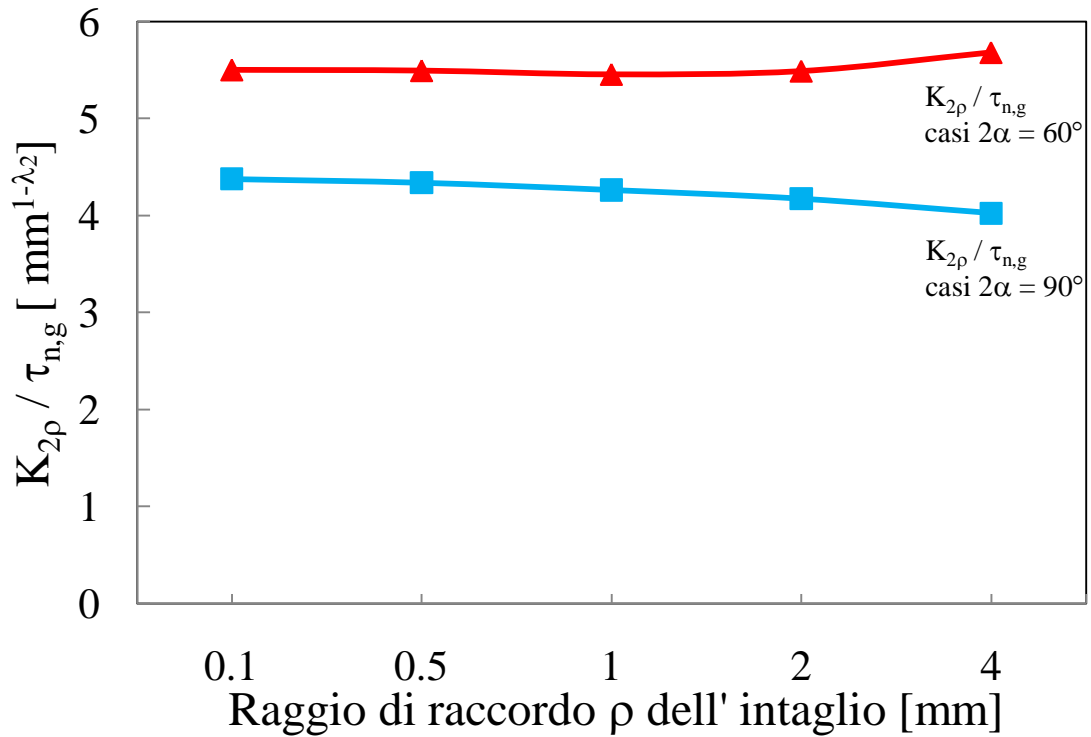


Figura 6.1 Valori del fattore $K_{2\rho}$ per le piastre analizzate

Sempre analizzando i grafici delle tensioni lungo la bisettrice dell' intaglio si nota che le tensioni trovate con il metodo matematico approssimano bene le tensioni trovate con il metodo numerico. Infatti si ottengono valori praticamente coincidenti nelle vicinanze dell' apice dell' intaglio, mentre si discostano all' aumentare della distanza da esso.

Nelle piastre analizzate aventi l' angolo di apertura dell' intaglio $2\alpha = 60^\circ$, si nota che il metodo matematico tende, ad una certa distanza dall' apice dell' intaglio, a sottostimare le tensioni. Inoltre esso all' aumentare del raggio di raccordo ρ dell' intaglio, tende ad essere leggermente meno preciso.

Nelle altre piastre analizzate, cioè quelle aventi l' angolo di apertura dell' intaglio $2\alpha = 90^\circ$, il metodo matematico, sempre ad una certa distanza dall' apice dell' intaglio, tende invece a sovrastimare le tensioni. Sempre in questi casi invece, il metodo matematico tende ad essere più preciso nella stima delle tensioni all' aumentare del raggio di raccordo ρ dell' intaglio. Tuttavia, come già affermato, le tensioni lungo la bisettrice dell' intaglio calcolate col metodo matematico sono praticamente uguali a quelle trovate con l' analisi agli elementi finiti FEM, in prossimità dell' apice dell' intaglio, cioè nella zona di maggiore interesse per la valutazione dell' intensificazione delle tensioni dovute all' intaglio. Questo dimostra che l'equazione usata, nella valutazione delle tensioni col metodo matematico, è molto valida.

7. Bibliografia

[1] M. Zappalorto, P. Lazzarin (2011) In-plane and out-of-plane stress field solutions for V-notches with end holes. Int J Fract 168: 167-180.

[2] P. Lazzarin, M. Zappalorto, F. Berto (2011) Generalised stress intensity factors for rounded notches in plates under in-plane shear loading. Int J Fract 170: 123-144.

[3] P. Lazzarin (2006) Fondamenti di COSTRUZIONE DI MACCHINE, Padova, Cortina editore.